Spektrophotometrische Untersuchungen über den Einfluss der Beimischung von Metallsalzen zu Bogenlichtkohlen auf die Verteilung der sichtbaren Energie in den einzelnen Teilen des Spektrums ihrer Flammenbogen.

Inaugural-Dissertation,

welche

nebst den beigefügten Thesen

mit Genehmigung der hohen

philosophischen Fakultät der Königl. Universität Breslau

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

am Freitag, den 15. Januar 1904, vormittags 10½ Uhr

in der Aula Leopoldina

öffentlich verteidigen wird

ACAD. LUGD. BAT. BIBL.

Carl Jaschke
stud. phil.

Opponenten:

Herr cand. phil. **Arthur Jopke,**
Herr cand. phil. **Hermann Matschke.**

Breslau
Buchdruckerei H. Fleischmann
1904.

Meiner toten Mutter.

Herrn

Geheimrat Meyer

meinen besten Dank für die liebenswürdige Unterstützung meiner Arbeiten.

Entwicklung und Fortschritte der Beleuchtung durch Bogenlampen.

Die Entwickelung, die der elektrische Lichtbogen seit seiner Entdeckung durch Davy im Jahre 1821[1]) bis zu seiner heutigen Vollkommenheit durchgemacht hat, war eine sehr langsame. Erst den letzten beiden Dezennien war es vorbehalten, diese Quelle unerreichter künstlicher Lichtfülle praktisch verwertbar zu machen.

Die Schwierigkeiten dafür lagen einerseits in dem Fehlen eines brauchbaren und billigen elektrischen Stromes. Die Verwendung der Bunsenbatterie blieb auf wissenschaftliche Versuche beschränkt, desgleichen die der magnetelektrischen Alliance-Maschine auf Leuchturmbeleuchtung (1855). Von grundlegender Bedeutung für die Starkstromerzeugung waren erst die Konstruktion des Siemens'schen Doppel-T-Induktors (1857), des Ringankers durch Pacinotti und Gramme (1863) und die Verwendung des dynamoelektrischen Prinzips (1867). Im Wettstreit um ihre praktische Brauchbarkeit entwickelten sich nun Gleich- Wechel- und Drehstrommaschinen zu einer Vollkommenheit, dass der Lichtbogen als Lichtquelle bald an die erste Stelle der ökonomischen Reihe der Leuchtkörper trat.

Neben dieser Schwierigkeit stand der praktischen Verwertung lange Zeit noch die Unmöglichkeit der selbsttätigen Regulierung der Entfernung der Kohlenspitzen

[1]) Gilbert, Ann. d. Phys. 1822 (11).

entgegen. Obgleich man von den von Davy verwendeten Holzkohlen sehr bald zu den festen Retortenkohlen mit viel geringerem Verbrauch übergegangen war, erlosch der Lichtbogen doch stets sehr bald infolge der sich stetig vergrössernden Entfernung der Kohlenspitzen. Erst Foucault gelang es, die Aufgabe der selbsttätigen Regulierung zu lösen. Der allgemeinen Einführung der Bogenlampe als Beleuchtungsmittel stand nur noch die Schwierigkeit der Teilung des elektrischen Lichts entgegen. Einen, allerdings unvollkommenen, Ausweg beschritt Jablochkoff durch seine elektrischen Kerzen (1876). Vollkommen gelöst worden ist die Aufgabe erst durch die auf konstante Bogenlänge regulierende Nebenschlusslampe und durch die auf konstanten Widerstand des Bogens regulierende Differentiallampe.

In den beiden Jahrzehnten ihres praktischen Gebrauchs hat die Bogenlampe wohl manche Verbesserung erfahren, in ihrer Ökonomie ist sie aber fast unverändert bei einem Verbrauch von 1 Watt pro Kerze stehen geblieben.

Einen ganz bedeutenden Fortschritt scheinen erst wieder die Flammenbogenlampen zu bilden, mit denen sich die nachstehenden Untersuchungen beschäftigen.

Der Flammenbogen.

Das Licht des Flammenbogens erscheint dem weissen des gewöhnlichen Kohlelichtbogens gegenüber als gefärbt. Die Färbung und zugleich eine konstatierbare bedeutend erhöhte Lichtausbeute wird erreicht durch Imprägnierung der Kohlenstifte mit Metallsalzlösungen. Untersuchungen über den Einfluss solcher Imprägnierungen auf den Lichtbogen sind schon 1843 von Casselmann[1]) angestellt worden. Dieser hatte gefunden, dass bei Zusatz von schwefligsaurem Natron, Soda, salpetersaurer Strontian-

[1]) Casselmann, Pogg. Ann. 63 (1843) p. 576.

erde, Kupferoxyd und Borsäure zu den Kohlen die Lichtbogenlänge bei gleichem Stromverbrauch vergrössert werden könne und dass die Lichtintensität eine bedeutend stärkere sei. In Anlehnung an diese Versuche entstanden die Dochtkohlen, deren weicher Kern ein Gemenge feinster mit Metallsalzen imprägnierter Kohleteilchen ist. Carré fand mit solchen Kohlen, dass Soda und Pottasche die Bogenlänge verdoppelten und die Leuchtkraft um 25% erhöhten, Kalk, Magnesia und Strontian um 40%, Eisen und Antimon um 60%. Auch hat man versucht, die Leuchtkraft des Bogenlichts durch Einführung von Glühkörpern zu erhöhen. Während alle diese imprägnierten Kohlen nur einen Salzgehalt von nicht über 5% hatten, verwendet man nach dem Vorgange Bremer's neuerdings bei den Flammenbogenlampen einen Zusatz von 20—50% Calcium-, Magnesium-, Strontium- und Siliciumsalzen und erzielt dadurch eine zwei- bis dreifache Lichtausbeute.

Im Folgenden ist der Einfluss der Beimischung von Metallsalzen zu Bogenlichtkohlen auf die Verteilung der sichtbaren Energie in den einzelnen Teilen des Spektrums ihrer Flammenbogen im Verhältnis zu der Energieverteilung im Spektrum der Glühlampe und der Gleichstrombogenlampe einer eingehenden Untersuchung unterzogen. Daran anschliessend sind Beobachtungen über spektrale Energieänderungen bei verschiedener Spannung ausgeführt.

Die Apparate und ihre Auswertung.

Zu den Beobachtungen wurde eine Wechselstromflammenbogenlampe von 30 Volt und 11 Ampère der Siemens A.G. mit den 3 Kohlensorten „Marke Rot", „Marke Weiss" und „Marke Gelb" verwendet. Von den Kohlen, welche beide als Dochtkohlen präpariert waren, besass die untere einen Durchmesser von 13,13 cm., die obere einen solchen von 10,88 cm.

Dieselben Untersuchungen wurden auch an einer Gleichstrombogenlampe von 45 Volt und 10 Ampère mit den Kohlen + = 13,0 cm. und — = 11,1 cm. ausgeführt.

Beide Lampen waren in lichtdichte Gehäuse eingeschlossen und sendeten Licht nur durch eine in der Entfernung von 38 cm. vom Bogen angebrachte Blendenöffnung von $4 \cdot 2^1/_2$ cm.^{2} aus.

Die Gleichstrombogenlampe wurde durch den Lichtstrom des Instituts gespeist, die Wechselstromlampe durch einen im Maschinenraum aufgestellten Wechselstromdynamo, der mit 1400 Umdrehungen zu je 4 Wechseln in der Minute lief. Die je 110 Volt betragende Spannung wurde durch starkspulige Widerstände auf die Verbrauchsspannung reguliert, zu deren Kontrolle aperiodische Strom- und Spannungszeiger der Siemens A. G. mit einem Messbereich von 0—25 Amp. und 20—50 Volt dienten.

Die Messung der Gesamtlichtintensität der untersuchten Lampen beschränkte sich auf die horizontale, da alle weiteren Untersuchungen nur in dieser Richtung vorgenommen wurden. Sie erfolgte mit dem Weberschen Photometer nach der von Weber für die Messung farbigen Lichts angegebenen Methode mit vorgeschlagener grüner oder roter Scheibe und auch vergleichsweise ohne diese.

Die Konstante C_3 für die beim Photometrieren verwendete Milchglasplatte mit Hilfe der Amylacetatlampe für die Entfernungen $R_1 = 265$ mm., $R_2 = 352$ mm. und die Scalenablesungen $r_1 = 165{,}5$ mm., $r_2 = 222{,}7$ wurde zu $C_{3\,1} = \frac{r_1^{\,2}}{R_1^{\,2}} = 0{,}40046$ und $C_{3\,2} = \frac{r_2^{\,2}}{R_2^{\,2}} = 0{,}40027$, d. h. im Mittel $C_3 = 0{,}400355$ bestimmt.

Die Entfernung der Lichtbögen von Platte C_3 des Photometers betrug $R = 4500$ mm. Die aus je 15 Beobtungen berechneten Mittelwerte der gesamten Intensitäten ergaben folgende Tabelle:

		Marke Weiss	Marke Rot	Marke Gelb	Gleichstrom
Skalenablesg. m. rot. Scheibe	r_1	217.4	151.6	153.4	260.0
Skalenablesg. m. grün. Scheibe	r_2	134.3	171.0	117.3	190.7
Skalenablesg. direkt	r_0	160.6	158.7	124.9	220.7
Intensitäten in Hefener-Alteneckschen Normalkerzen	J_1	164	337.3	329.4	114.4
	J_2	429.7	265.1	563.3	213.1
	J_0	300.5	307.7	496.9	159.1
Quotient	$\frac{J_2}{J_1}$	2.65	0.786	1.7102	1.863
Gesamtintensität in Normalkerzen: Zu $\frac{J_2}{J_1}$ gehörige Konstante	k	1.888	0.8602	1.4651	1.503
Gesamtintensität in Normalkerzen: Berechneter Wert aus $J = J_1 \cdot k$	J	311.1	290.1	482.6	171.94

Als Vergleichslampe bei allen Beobachtungen diente eine Glühlampe von 110 Volt und 0,49 Amp., die bei R = 1000 mm. und r = 161,3 mm. eine Intensität von J = 15,39 Kerzen hatte.

Für Intensitätmessungen an spektral zerlegtem Licht standen das Glan-Vogelsche[1]) und das Vierordtsche Spektrophotometer zur Verfügung. Das Glan-Vogelsche wurde vorgezogen, da es wegen der für die vermuteten grossen Intensitätsunterschiede beim Vierordtschen Photometer notwendigen einseitigen Spaltverbreiterungen geeigneter schien.

Um die beobachteten Spektralgebiete möglichst genau bestimmen zu können, wurde die Skala des Photometers durch Einstellung auf möglichst viele Linien bekannter Wellenlänge ausgewertet.

Die folgenden 41 Beobachtungen, die mittels im elektrischen Lichtbogen verdampfter Metallsalze oder mittels Geislerröhren hergestellt sind, ergeben mit grosser Genauig-

[1]) Wied. Ann. 1, p. 351.

keit der Wellenlängenkurve des Glan-Vogelschen Spektrophotometers, die es nun ermöglicht, zu jedem Skalenteil des Photometers die zugehörige Wellenlänge zu finden.

(Die eingeklammerten Zahlen bedeuten die Wellenlängen in $\mu\mu$, die anderen die zugehörigen Skalenteile).

Natrium	10 = (589,3)		
Kalium	6, 2 = (768,0)	22,18 = (404,7)	
Lithium	7,86 = (670,8)	9,35 = (610,4)	
Strontium	9,51 = (605,0)	11,49 = (558,1)	11,61 = (545,1)
	12,48 = (525,7)	14,05 = (496,2)	14,56 = (487,8)
	16,47 = (460,8)	20,08 = (421,6)	21,74 = (407,8)
Barium	11.28 = (553,6)	12,53 = (524,2)	13,09 = (513,6)
Zink	8,68 = (636,4)	14,99 = (481,1)	15,59 = (472,2)
	15,89 = (468,0)		
Magnesium	12,82 = (518,4)	12,92 = (516,8)	
Wasserstoff	8,19 = (656,3)	14,64 = (486,1)	18,8 = (434,0)
Helium	7,18 = (706,5)	7,93 = (667,8)	10,05 = (587,6)
	13,57 = (504,8)	13,72 = (501,6)	14,29 = (492,2)
	15,65 = (471,3)	17,59 = (447,2)	21,22 = (412,0)
	22,45 = (402,6)	23,28 = (396,5)	24,52 = (388,9)
Fraunhofer	7,51 = (688,3)	8,18 = (656,3)	18,8 = (434,0)
	19,16 = (430,7).		

Aus dieser Kurve sind sämtliche Wellenlängenangaben graphisch ermittelt worden.

Die bei dem Glan'schen Photometer notwendigen Hilfsbeobachtungen und Berechnungen ergeben sich auf Grund folgender Formeln. Von den beiden im Beobachtungsfernrohr sichtbaren, übereinander liegenden Spektren kommt das untere von der oberen Spalthälfte des Collimatorrohres, das obere von der unteren Spalthälfte. Das untere Spektrum sei ausgelöscht. Bezeichnet man die Intensivität der Vergleichslampe am unteren Spalt mit G, dann ist bei einer Drehung des Nicols um α^0 die Helligkeit des oberen Spektrums gleich

$$G \cdot a' \cdot \cos^2 \alpha,$$

Bezeichnet man die Intensität der zu untersuchenden Lichtquelle am oberen Spalt mit J, dann ist bei einer Drehung des Nicols um α^0 die Helligkeit des unteren Spektrums gleich

$$J \cdot a \cdot \sin \alpha^2,$$

wobei a und a' Faktoren sind, die durch den Lichtverlust im Apparat bestimmt sind. Bei gleicher Helligkeit beider Spektren ist dann

$$G \cdot a' \cos^2 \alpha = J \cdot a \cdot \sin^2 \alpha$$
$$J = G \cdot \frac{a'}{a} \cdot \cot g^2 \alpha$$
$$J = G \cdot c \cdot \cot g^2 \alpha.$$

Durch einfaches Ablesen der Nicoldrehung lässt sich also die relative Helligkeit einer Lichtquelle im Verhältnis zur Vergleichslampe bestimmen.

Der Faktor c des Lichtverlustes im Apparat lässt sich bestimmen, indem man G = J macht und die vom Auslöschungspunkt des unteren Spektrums bis zur Gleichheit beider Spektra nötige Nicoldrehung β bestimmt.

Dann ist

$$1 = c \cdot \cot g^2 \beta$$
$$c = tg^2 \beta$$

Die Beobachtungen zur Bestimmung des Faktors c wurden in genau derselben Apparateanordnung ausgeführt, wie die Hauptversuche, da schon eine geringe Verschiebung grosse Differenzen verursachte. Die gleichmässige Beleuchtung beider Spalthälften wurde durch eine in der Entfernung von 455 cm. vom Spalt aufgestellte Milchglasscheibe erreicht, die von einer Bogenlampe gleichmässfg erleuchtet war.

Die in zwei gegenüberliegenden Quadranten in den verschiedenen Spektralgebieten gefundenen Mittelwerte aus je 10 Beobachtungen sind in folgender Tabelle enthalten:

Beobachtungen zwischen Skalenteilen	Mitte	Nicoldrehung β
6.5—7.0	6.50	46° 18′
7.5—8.0	7.75	45° 18′
8.5—9.0	8.75	44° 12′
11.0—11.5	11.25	42° 25′
13.0—13.5	13.25	41° 3′
15.0—16.0	15.50	39° 35′
17.0—18.0	17.50	38° 36′
22.0—22.5	22.25	36° 13′

Auf Grund dieser Tabelle lässt sich eine glatt verlaufende Kurve der Lichtverluste im Photometer zeichnen, aus der die zu jedem Skalenteil gehörige Nicoldrehung β graphisch ermittelt werden kann.

Anwendung der Apparate.

Der untersuchte Lichtbogen wurde in der Verlängerung der Achse des Collimatorfernrohrs so hergestellt, dass die Entfernung seiner Mitte vom Spalt 455 cm. betrug, wenn das Spaltrohr so ausgezogen war, dass die Spektra im Beleuchtungsfernrohr sich im äussersten Rot scharf begrenzten. Die Vergleichsglühlampe, deren Licht rechtwinklig durch ein total reflecktierendes Prisma in die untere Spalthälfte geworfen wird, wurde durch einen Balken in feste Verbindung mit dem ausziehbaren Spalt gebracht. Diese Massnahme hatte sich als notwendig ergeben, da während der Beobachtungen in den verschiedenen Teilen des Spektrums der Spalt um ca. 2 cm ausgezogenen wird und dies bei fester Stellung der Glühlampe Intensitätsänderungen dieser Vergleichslampe durch

veränderte Richtung der total reflektierten Strahlen, durch Änderungen der Entfernung der Glühlampe vom Prisma und durch Drehung des durch Lampenachse und Spalt gelegten Vertikalschnittes ergeben hätte[1]). Die somit feste Länge des Weges des Vergleichlichtes von Glühlampenachse bis Spalt betrug 50 cm.

Beobachtungen.

Zur Orientierung wurden zunächst die Spektra der zu untersuchenden Lampen einer kurzen Beobachtung unterzogen. Der Gleichstromlichtbogen mit den gewöhnlichen Kohlen zeigte dabei das kontinuierliche Spektrum der Temperaturstrahlung der Kohle, aus dem sich nur die Natriumlinie 589,3 μμ, die Kohlebande 516,5 μμ, und die Cyanbanden 421,6 μμ und 388,3 μμ deutlich abhoben.

Das Spektrum des Flammenbogenlichts zeigte wegen der reichlichen Bemengungen von Metallsalzen den ausgesprochenen Typus eines Linienspektrums. Von den verschiedenen, äusserst zahlreichen Linien zeigte besonders hell

„Marke Weiss“ die Bariumlinien λ = 649,7 614,2
590,8 585,4 582,6 580,6 577,8 553,6 551,9
526,7 493,4 472,7 470,1 469,2 458,0 455,4
452,5 450,7 443,2 440,3 435,0 428,3 413,1
399,3 389,2 μμ

Marke „Rot“ die Linien und Banden des Strontiums: λ = 686,3 662,8 649,9
646,5 606,0 552,2 550,4 548,1 525,7
523,9 522,2 515,6 496,2 487,6 486,9
485,5 483,2 481,2 467,8 453,1 443,8
430,6 421,6 407,8 403,0 μμ

---

[1]) Liebenthal, Zeitschr. f. Instrumentenkunde 19, p. 193.

„Marke Gelb“: die Linien des Calciums $\lambda = 650{,}0$
646,3 643,9 616,2 612,2 610,3 585,8
560,3—558,2 534,9 527 —526,1 519,0
504,1 487,8 458,6—457,9 452,7 445,5
443,5 442,6 435,5 431,9 430,8—428,3
422,7 397,4 393,4 μμ ausserdem
Sr $\lambda = 552{,}2$ μμ Li $\lambda = 670{,}8$ μμ.

Daraus ergibt sich, das „Marke weiss“ besonders mit Bariumsalzen, „Marke rot“ mit Strontiumsalzen und „Marke gelb“ mit Calciumsalzen präpariert ist.

Da ein Vergleich eines Linienspektrums mit dem kontinuierlichen der Glühlampe unmöglich war, wurde der Spalt des Spektrophotometers derartig nach der einen Seite verbreitert, dass die stets wahrnehmbare Natriumlinie sich ebenfalls einseitig vom Skalenteil 10 (589,3) bis Skalenteil 9,5 (605,2) zu einem gleichmässig erhellten Streifen verbreiterte. Dann verbreiterten sich auch die übrigen Linien und Banden, und das ganze ehemalige Linienspektrum zeigte sich nun in einer grossen Anzahl gleichmässig erhellter Streifen, die vielfach übereinander griffen und an solchen Stellen durch Summation ihrer Intensitäten einen helleren Streifen erzeugten. Die so verglichenen Spektralgebiete sind also Mischfarben, wenn auch solche verhältnismässig naheliegender Wellenlängen. Eine geringe Verschiebung der Farbennuance ergab sich allerdings öfter an Stellen grosser Intensitätsunterschiede, doch erwies sie sich nicht als störend für den Vergleich.

Für die Berechnung der relativen Intensitäten der Bogenlampen im Verhältnis zur Glühlampe kommt noch der Faktor in betracht, der die Entfernungen der Lichtquellen vom Spalt in Rechnung zieht. Bezeichnet man den Abstand der Bogenlampe vom Spalt mit b, den der Glühlampe vom Spalt mit g, dann ist $E = \left(\frac{b}{g}\right)^2$ der Faktor, mit dem man das für die Intensitäten am Spalt erhaltene Resultat multiplizieren muss um den wahren

Wert der relativen Intensitäten zu erhalten. g ist, wie schon erwähnt, konstant gleich 50 cm. Dagegen ist b veränderlich, denn b = 455 cm. gilt nur für Beobachtungen im äussersten Rot, und um die übrigen Teile des Spektrums zu scharfer Berührung zu bringen musste das Spaltrohr verlängert werden. Die Beobachtungen im äussersten Violett ergaben dann nur noch eine Entfernung von b = 453,25 cm. In Berücksichtigung dieser Tatsache wurde das Spektrum in 8 gleiche Abschnitte geteilt von je 2,25 Skalenleilen, und die Beobachtungen dann entsprechend bei den in der folgenden Tabelle angegebenen Spaltrohrauszügen ausgeführt:

Skalenteile	b cm.	g cm.	$\left(\frac{b}{g}\right)^2 = E$
6.00— 8.25	455.00	50	82.810
8.25—10.50	454.75	50	82.718
10.50—12.75	454.50	50	82.626
12.75—15.00	454.25	50	82.538
15.00—17.25	454.00	50	82.448
17.25—19.50	453.75	50	82.357
19.50—21.75	453.50	50	82.266
21.75—24.00	453.25	50	82.175

Bei den Beobachtungen in den einzelnen Streifen der Spektra war für deren Zugehörigkeit zu der einen oder anderen Serie die Mitte der den Streifen einschliessenden Skalenteile massgebend.

Während der Beobachtungen wurden die Flammenbogen konstant auf 30 Volt und 11 Amp., der Gleichstrombogen auf 44 Volt und 10 Amp. erhalten. Um Fehler durch den leicht eintretenden, einseitigen Abbrand der Kohlen zu vermeiden, wurden die Beobachtungen für jede

Kohlensorte in vier Reihen zu verschiedenen Zeiten ausgeführt. In jeder Reihe wurden in zwei gegenüberliegenden Quadranten je zwei Einstellungen gemacht, sodass die in den folgenden Tabellen angegebenen Resultate die Mittel aus je 16 Beobachtungen sind.

Zur Erklärung der Tabellen sei folgendes vorausgeschickt:

Spalte 1) gibt die Begrenzungen der beobachteten Streifen in Skalenteilen.

Spalte 2) entsprechend in Wellenlängen in $\mu\mu$.

Spalte 3) gibt den Winkel α an.

Spalte 4) gibt den für die Mitte jedes beobachteten Streifens graphisch ermittelten Winkel β für den Faktor des Lichtverlustes an.

Spalte 5) enthält den Faktor E der Entfernungen.

Spalte 6) enthält das nach der Formel

$J = G, \cot g^2\alpha \cdot tg^2\beta \cdot E$ berechnete Resultat der relativen Intensität der untersuchten Lichtquellen im Verhältnis zur Glühlampe.

Marke „Rot“.

1. Scalenteile	2. Wellenlängen	3. ∢ α	4. ∢ β	5. E	6. J
7.0—7.3	716.6—699.9	70° 2′	45° 41′	82.810	11.46
7.3—7.5	699.9—688.8	60° 28′	45° 29′	82.810	27.49
7.5—7.7	688.8—678.8	58° 42′	45° 18′	82.810	31.26
7.7—8.6	678.8—639.4	39° 32′	44° 49′	82.810	120.03
8.6—9.0	639.4—623.5	48° 18′	44° 22′	82.718	62.82
9.0—9.5	623.5—605.2	61° 30′	43° 55′	82.718	22.61
9.5—9.9	605.2—592.1	52° 21′	43° 35′	82.718	44.59
9.9—10.5	592.1—573.9	36° 48′	43° 0′	82.718	128.53
10.5—10.9	573.9—562.9	56° 57′	42° 49′	82.626	30.03
10.9—11.1	562.9—557.7	47° 29′	42° 37′	82.626	58.80
11.1—11.3	557.7—552.6	40° 46′	42° 27′	82.626	93.01
11.3—11.6	552.6—545.2	49° 42′	42° 17′	82.626	49.14
11.6—12.1	545.2—533.7	61° 14′	41° 59′	82.626	20.17
12.1—12.7	533.7—520.8	47° 39′	41° 38′	82.626	54.24
12.7—13.0	520.8—514.9	50° 48′	41° 18′	82.538	42.37
13.0—13.6	514.9—503.7	63° 25′	41° 0′	82.538	15.62
13.6—13.8	503.7—500.2	37° 20′	40° 43′	82.538	105.09
13.8—14.1	500.2—495.1	32° 40′	40° 36′	82.538	147.49
14.1—14.2	495.1—493.3	40° 15′	40° 28′	82.538	83.81
14.2—14.7	493.3—485.3	30° 45′	40° 18′	82.538	169.95
14.7—15.0	485.3—480.8	38° 9′	40° 2′	82.538	94.41
15.0—15.7	480.8—470.5	41° 38′	39° 44′	82.448	72.10
15.7—16.05	470.5—465.9	50° 42′	39° 24′	82.448	37.27
16.05—16.5	465.9—460.0	23° 5′	39° 6′	82.448	299.78
16.5—16.9	460.0—455.0	34° 14′	38° 58′	82.448	116.49
16.9—17.5	455.0—448.1	50° 21′	38° 42′	82.448	36.34
17.5—18.0	448.1—442.3	42° 2′	38° 24′	82.357	63.66
18.0—18.7	442.3—434.9	42° 5′	38° 5′	82.357	62.09
18.7—19.2	434.9—429.8	25° 47′	37° 42′	82.357	21.08
19.2—19.7	429.8—424.9	43° 26′	37° 30′	82.357	54.10
19.7—20.2	424.9—420.3	12° 29′	37° 14′	82.266	969.35
20.2—21.4	420.3—410.3	23° 31′	37° 2′	82.266	247.29
21.4—21.8	410.3—407.4	2° 46′	36° 30′	82.266	19289

Marke Weiss.

1. Skalenteile	2. Wellenlängen	3. ∢ α	4. ∢ β	5. E	6. J
6.7 — 7.5	734.0—688.8	61° 24′	45° 44′	82.810	25.91
7.5 — 7.9	688.8—668.9	58° 3′	45° 12′	82.810	32.66
7.9 — 8.4	668.9—648.0	51° 36′	44° 49′	82.810	51.36
8.4 — 8.8	648.0—631.4	62° 26′	44° 36′	82.718	22.29
8.8 — 9.25	631.4—614.0	42° 34′	44° 6′	82,718	92.08
9.25— 9.65	614.0—600.3	50° 11′	43° 48′	82.718	52.87
9.65— 9.9	600.3—592.2	46° 10′	43° 3.′	82.718	68.66
9.9 —10.1	592.2—586.0	37° 2′	43° 20′	82.718	129.35
10.10—10.39	586.0—577.4	46° 49′	43° 11′	82 718	64 17
10.39—10.80	577.4—565.7	58° 47′	42° 54′	82 626	26.20
10.80—11.25	565.7—554.0	35° 1′	42° 36′	82 626	142.32
11.25—11.7	554.0—542.8	48° 46′	42° 17′	82.626	52.49
11.7 —12.5	542.8—524.9	55° 22′	41° 48′	82.626	31.51
12.5 —13.1	524.9—513.0	43° 21′	41° 19′	82 538	71.57
13.1 —13.3	513.0—509.2	32° 32′	41° 5′	82.538	154.19
13.3 —13.8	509.2—500.2	24° 25′	40° 52′	82.538	299.80
13.8 —14.3	500.2—491.9	18° 13′	40° 32′	82.538	557.18
14.3 —14.5	491.9—488.6	33° 27′	40° 17′	82.538	135.85
14.5 —15.2	488.6—477.7	45° 21′	40° 2′	82.538	56,84
15.2 —15.7	477.7—470.5	41° 58′	39° 40′	82.448	70.09
15.7 —16.0	470.5—466.5	30° 29′	39° 24′	82.448	160.54
16.0 —16.3	466.5—462.5	34° 53′	39° 15′	82.448	113.23
16.3 —16.5	462.5—460.0	23° 47′	39° 6′	82.448	280.36
16,5 —17.0	460.0—453.9	13° 26′	38° 56′	82.448	943.24
17.0 —17.4	453.9—449.1	28° 4′	38° 42′	82.448	186.13
17.4 —19.0	449.1—431.8	29° 33′	38° 25′	82.357	161.16
19.0 —19.6	431.8—426.0	22° 14′	37° 35′	82.357	291.96
19.6 —20.8	426.0—415.2	21° 57′	37° 6′	82.266	289.71
20.8 —21.2	415.2—412.1	12° 9′	36° 48′	82.266	993.30
21.2 —21.8	412.1—407.4	14° 39′	36° 33′	82.266	661.54

Marke Gelb.

1. Skalenteile	2. Wellenlängen	3. ∢ α	4. ∢ β	5. E	6. J
6.0—7.4	785.0—694.3	72° 8′	46° 5′	82.810	9.28
7.4—7.9	694.3—668.9	72° 13′	45° 15′	82.810	8.66
7.9—8.35	668.9—650.0	60° 2′	44° 48′	82.810	27.15
8.35—8.50	650.0—643.8	60° 24′	44° 36′	82.718	25.96
8.50—9.0	643.8—623 5	46° 0′	44° 22′	82.718	73.80
9.0—9.6	623.5—601.9	30° 5′	43° 51′	82.718	227.47
9.6—10.15	601.9—584.2	43° 33′	43° 27′	82.718	82.14
10.15—10.5	584.2—573.9	68° 56′	43° 5′	82.718	10.74
10 5—11.0	573.9—560.3	47° 59′	42° 48′	82.626	57.51
11.0—11.6	560.3—545.2	45° 47′	42° 24′	82.626	65.23
11.6—12.3	545.2—529.0	23° 50′	41° 54′	82.626	340.88
12.3—12.75	529.0—519.7	49° 37′	41° 30′	82.626	46.79
12.75—13.0	519.7—514.9	47° 22′	41° 17′	82.538	53.93
13.0—13.5	514.9—505.7	62° 12′	41° 2′	82.538	17.38
13.5 13.65	505.7—502.8	64° 21′	40° 50′	82.538	14.21
13.65—14.15	502.8—494.1	54° 31′	40° 36′	82.538	33.16
14.15—14.5	494.1—488.6	53° 26′	40° 22′	82.538	32.82
14.5—16.0	488.6—466.5	71° 9′	39° 47′	82.448	6.66
16.0—16.5	466.5—460.0	32° 51′	39° 13′	82.448	131.69
16.5—16.8	460.0—456.1	33° 35′	39° 0′	82.448	122.64
16.8—17.15	456.1—452.0	42° 1′	38° 49′	82.448	65.74
17.15—17.4	452.0—449.1	23° 7′	38° 40′	82.357	289.39
17.4—17.7	449.1—445.9	16° 52′	38° 31′	82.357	567.54
17.7—17.9	445.9—443.6	20° 11′	38° 22′	82.357	381.96
17 9—18.5	443,6—437.1	44° 25′	38° 10′	82.357	52.99
18.5—18.7	437.1—434.9	41° 12′	37° 54′	82.357	65.13
18.7—19.1	434.9—430 9	20° 15′	37° 43′	82.357	361.91
19.1—19.5	430.9—426.9	25° 27′	37° 35′	82.357	215.40
19.5—20.0	426.9—422.0	13° 16′	37° 21′	82.266	861.90
20.0—21.8	422.0—404.7	24° 6′	36° 48′	82.266	230.09
21.8—22.8	404.7—400.0	31° 20′	36° 11′	82.175	118.62
22.8—23.8	400.0—393.0	6° 4′	35° 43′	82.175	3761.2

Gleichstrom.

1. Skalenteile	2. Wellenlängen	3. ∢ α	4. ∢ β	5. E	6. J
6.0—6.5	785.0—747.0	54° 19′	46° 30′	82.810	47.42
6.5—7.0	747.0—716.0	48° 21′	46° 3′	82.810	70.49
7.0—7.5	716.0—688.8	46° 33′	45° 37′	82.810	77.58
7.5—8.0	688.8—664.6	45° 8′	45° 12′	82.810	83.20
8.0—8.5	664.6—643.8	44° 3′	44° 47′	82.810	87.16
8.5—9.0	643.8—623.5	42° 20′	44° 22′	82.718	95.36
9.0—9.5	623.5—605.2	40° 58′	43° 58′	82.718	102.08
9.5—10.0	605.2—589.3	39° 52′	43° 31′	82.718	108.18
10.0—10.5	589.3—573.9	37° 24′	43° 11′	82.718	124.64
10.5—11.0	573.9—560.3	36° 0′	42° 48′	82.626	134.23
11.0—11.5	560.3—547.8	34° 13′	42° 26′	82.626	149.33
11.5—12.0	547.8—535.9	33° 48′	42° 4′	82.626	150.18
12.0—12.5	535.9—524.9	33° 19′	41° 43′	82.626	152.00
12.5—13.0	524.9—514.9	32° 5′	41° 23′	82.626	163.23
13.0—13.5	514.9—505.7	31° 14′	41° 2′	82.538	170.00
13.5—14.0	505.7—496.8	30° 29′	40° 43′	82.538	176.43
14.0—14.5	496.8—488.6	28° 43′	40° 23′	82.538	198.93
14.5—15.0	488.6—480.8	27° 28′	40° 5′	82.538	216.34
15.0—15.5	480.8—473.3	26° 7′	39° 47′	82.448	237.85
15.5—16.0	473.3—466.5	24° 18′	39° 39′	82.448	278.79
16.0—16.5	466.5—460.0	23° 16′	39° 13′	82.448	296.97
16.5—17.0	460.0—453.9	22° 2′	38° 56′	82.448	328.53
17.0—17.5	453.9—448.1	21° 33′	38° 40′	82.448	338.50
17.5—18.0	448.1—442.3	21° 26′	38° 24′	82.357	335.72
18.0—18.5	442.3—437.1	21° 20′	38° 8′	82.357	332.75
18.5—19.0	437.1—431.8	20° 15′	37° 52′	82.357	365.85
19.0—19.5	431.8—426.9	19° 56′	37° 37′	82.357	371.85
19.5—20.0	426.9—422.0	18° 6′	37° 21′	82.266	448.50
20.0—20.5	422.0—417.8	14° 23′	37° 6′	82.266	715.48
20.5—21.0	417.8—413.7	13° 18′	36° 52′	82.266	827.90
21.0—21.5	413.7—409.6	12° 45′	36° 38′	82.266	888.34
21.5—22.0	409.6—405.8	12° 25′	36° 25′	82.266	923.60
22.0—22.5	405.8—402.0	8° 34′	36° 12′	82.175	1939.80

Die Resultate dieser Beobachtungen sind in den Spektraltafeln I—IV graphisch dargestellt, wobei die Intensität der Glühlampe in jedem Spektralteile gleich 1 gesetzt ist.

Die Betrachtung der Tafel IV für Gleichstrombogen zeigt die bekannte Tatsache, dass die spektrale Verteilung der Energie der von Temperaturstrahlung herrührenden, kontinuierlichen Spektren sich mit der Temperatur so ändert, dass bei Erhöhung der Temperatur die Intensität der kürzeren Wellen schneller zunimmt als die der längeren Wellen.

Ausserordentlich stark macht sich der Einfluss einzelner Kohle- und Cyanbanden auf die Intensitäten bemerkbar; so besonders der grüngelben Kohlehande $\lambda = 563{,}5—558{,}4 \mu\mu$, der blauen Kohlebande 473,7—468,5 $\mu\mu$, der ersten Cyanbande 460,1—450,1 $\mu\mu$ und der Cyanbande 421,6 $\mu\mu$.

Ein durchaus anderes Bild geben die Resultate der Untersuchungen der Flammenbogen. Bei jeder der 3 Marken ist wieder die spektrale Verteilung der Intensitäten eine durchaus verschiedene.

Bestimmend für die Farbe der „Marke Rot“ ist das intensive, breite Band 678,8—639,4 $\mu\mu$ im Rot mit der Intensität 120,03 und das Band 592,1—573,8 im Gelb mit der Intensität 128,53, die beide die umliegenden Spektralgebiete um das doppelte bis sechsfache überragen. Stellen grösserer Intensität finden sich noch im Grün bei 500,2 bis 495,1 $\mu\mu$ (J = 147,49), und 493,3—485,3 $\mu\mu$ (J = 169,95), ferner im Blau 465,9—460,0 $\mu\mu$ (J = 299,78) nnd im Violett 424,9—420,3 $\mu\mu$ (J = 969,35), 410,3—407,4 $\mu\mu$ (J = 19289).

Bei „Marke Weiss“ fällt die fast gleichmässige, allerdings im Grün und Blau vorherrschende, Verteilung der Intensitätsmaxima auf. Diesem Umstande gemäss zeigt sich dieser Flammenbogen dem Auge als weisser als der gewöhnliche Kohlenlichtbogen. Im Rot ist die Intensität

gering und erhebt sich erst im Orange zu J = 92,078 bei 631,4 – 614,0 μμ, im Gelb bei 592 – 586,0 μμ auf J=129,35 und im Gelbgrün bei 565,7 – 554,0 μμ auf J = 142,32. Im Grün zeigen sich die grössten Intensitäten bei 509,2 bis 500,2 μμ (J = 299,8) und 500,2 – 491,9 μμ (J = 557,18) Das Maximum im Blau liegt bei 460,0—453,9 μμ (J = 943,24), das im Violett bei 415,2 – 412,1 (J = 993,3).

Der Farbenton von „Marke Gelb" rührt von dem breiten Bändern 623,5 – 601,9 μμ im Gelb mit J = 227,47 und 545,2—529,0 μμ im Gelbgrün mit J = 340,88 her. Anteil an der Helligkeit des Flammenbogens nehmen in den anderen Spektralgebieten fast nur noch 449,1 – 445,9 μμ (J = 567,54) und 426,9 – 422,0 μμ (J = 861,9) während 400,0 – 393,0 μμ mit J = 3761,2 schon zu weit nach der äussersten Grenze des sichtbaren Spektrums liegt, um noch einen Einfluss ausüben zu können.

Unter den drei Flammenbogen nimmt „Marke Gelb" in der ökonomischen Reihe dieser Lichtquellen die erste Stelle ein.

Sie verdankt diese Stellung allein dem Einfluss der beiden Maxima im Gelb und Gelbgrün ihres Spektrums, für welche Wellenlängen unser Auge die grösste Empfindlichkeit besitzt. Damit im Einklang steht auch die ca. 3 – 6% betragende Verschiedenheit der mit dem Weberschen Photometer erhaltenen Resultate, der direkten und der über rot und grün erhaltenen. Für die Marken rot und gelb ist die direkte Messung grösser, für „Marke weiss" und Gleichstrom dagegen kleiner.

Von Interesse ist nun die Frage, von welchem Einfluss die vom Lichtbogen dieser präparierten Kohlen ausgehende Lichtmenge auf die gesamte horizontale Intensität ist.

Auf Grund von Untersuchungen am Gleichstromlichtbogen berechnete Palaz[1]) für Anode 85%, Kathode 10%

[1]) Palaz Lumière électrique 37 p. 410 (1890).

und für den Bogen 5% der gesamten Licetemission. Für die bei den vorliegenden Untersuchungen nur in Betracht kommende horizontale Intensität wird der Einfluss des Bogens voll zur Geltung kommen, während wegen der bei ca. 60° unter der Horizontalen liegenden maximalen Intensität des Kraters diese nur durch eine schwache Komponente vertreten ist. Zieht man noch in betracht, dass, wie meine Versuche bestätigt hatten, die relative Helligkeit der Kohle- und Cyanbanden im Spektrum des Lichtbogens in der Nähe des Kraters heller ist als in dem des Kraters selbst[1]), so ist eine Erklärung für ihr starkes Hervortreten gefunden. Während die Intensität des gewöhnlichen Lichtbogens doch vor allem der Temperaturstrahlung angehört, zeigen die Tafeln I–III, dass wir es bei den Flammenbogen in horizontaler Richtung fast ausschliesslich mit dem Leuchten der aus den dissoziierten Salzen entwickelten glühenden Metalldämpfe der äusseren Hülle des Lichtbogens zu tun haben, das nach Untersuchungen von Pringsheim[2]) eher als eine Folge der Luminescenz zu betrachten ist.

Infolge der durch diese umhüllende Dampfschicht bewirkten Absorption verschwindet die Strahlung der glühenden Kohle fast vollständig, ebenso wie die vom Kern des Lichtbogens ausgehenden Kohle- und Cyanbanden.

Es lag nun der Gedanke nahe, ob nicht die von Kayser ausgesprochene Vermutung: Potentialfall gleich Licht, für eine Erklärung des Luminescensleuchtens des

[1]) Vermutlich infolge der von Moissan (C R 119 p 776, 1894) und Violle (C R 119 p. 949, 1894) angenommenen höheren Temperatur des Lichtbogens, die möglicherweise ihren Grund in dem schon von Lecher (Wied. Ann. 33 p 609, 1888) an der Grenze Lichtbogen-Crater nachgewiesenen ca. 75—80% des ganzen Potentialfalles betragenden Potentialsprung haben mag. (Kayser Spectroscopie I p. 165; 1900).

[2]) Pringsheim Rapports du Congr. Intern. Bd. II p. 100 Paris Gauthier-Villars 1900.

Flammenbogens heranzuziehen sei. Nach Lechers Vorgang wurde deshalb die Spitze eines dünnen Kohlestäbchens in den durch Gleichstrom von konstant 12 Amp. und 40 Volt zwischen zwei präparierten Kohlen hergestellten Flammenbogen von 16 mm. Länge getaucht und die zwischen positiver Kohle und Stäbchen auftretende Potentialdifferenz gemessen. Die folgende Tabelle gibt die Resultate.

Entfernungen vom Krater	Volt	Potentialdifferenz in Prozenten
Krater	0	33,3%
Grenze Krater Lichtbog	13,3	
4 mm.	17,2	
8 mm.	21,8	Lichtbogen 16,6 Volt = 41,5%
12 mm.	26,1	
Grenze Lichtbog - Kohle	29,9	
neg. Kohle	40,0	10,1 Volt = 25,3%

Daraus ergibt sich für den Flammenbogen eine Beteiligung von 41,5% am gesamten Potentialabfall gegen eine solche von 8—10% beim gewöhnlichen Gleichstromlichtbogen.

In welcher Weise die vermehrte Energie im Lichtbogen in Strahlung umgesetzt wird, diese Frage lässt sich wohl erst beantworten, wenn man genauere Kenntnis von den Vorgängen im Lichtbogen haben wird.

Einfluss von Spannungsänderungen auf die horizontale Lichtemission der Flammenbogen.

Als orientierende Versuche und zum Vergleich wurde zunächst der Gleichstromlichtbogen bei konstanter Stromstärke J = 10 Amp. aber von 40—58 Volt veränderter Spannung untersucht. Die Anordnung der Apparate und die Ausführung der Beobachtungen blieb dieselbe wie bei den letzten Versuchen. Die Beobachtungen wurden auf einzelne Spektralgebiete beschränkt. Ihre Resultate sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

	= 1		= 2		= 3	
Volt	7.7—8.6 β = 44° 49′ ∢ α	λ = 678.8 —639.4 μμ E = 82.810 J	9.9—10.1 β = 43° 20′ ∢ α	λ = 592.2 —586.0 E = 82.718 J	10.5—11.0 β = 42° 48′ ∢ α	λ = 573.9 —560.3 μμ E = 82.626 J
40	39° 2′	124.4	38° 12′	118.9	36° 11′	132.4
43	39° 8′	123.5	38° 15′	118.5	36° 23′	130.5
46	39° 37′	119.3	38° 48′	113.9	36° 40′	127.7
49	40° 6′	115.3	38° 55′	112.9	36° 57′	125.2
52	43° 14′	92.5	39° 40′	107.1	37° 18′	122.1
55	48° 36′	63.5	40° 5′	104.0	37° 42′	118.6
58	51° 0′	53.6	40° 32′	100.7	37° 40′	118.9

	= 4		= 5	
Volt	13.8 - 14.2 β = 40° 32′ ∢ α	λ = 500.2 —493.3 μμ E = 82.538 J	19.7—20.2 β = 37° 14′ ∢ α	λ = 424.9 —420.3 μμ E = 82.266 J
40	29° 46′	184.5	24° 13′	234.9
43	28° 57′	197.2	21° 23′	309.9
46	28° 2′	212.9	18° 2′	417.2
49	27° 37′	220 5	16° 35′	535.8
52	27° 33′	221.8	15° 32′	615.0
55	27° 25′	224.3	15° 1′	660.2
58	27° 3′	231.5	14° 45′	685.5

Aus den Formen der beigegebenen Kurven ergibt sich, dass bei Vergrösserung der Bogenlänge die langwelligen Strahlen stark geschwächt werden (hier z. B. bei = 1 auf $^2/_5$ der ursprünglichen Intensität), wogegen sich die Intensität der kurzwelligen Strahlen stark vergrössert (bei = 5 auf das dreifache). Für diese Schwächung der roten Strahlung findet Ayrton[1]) eine Erklärung in der Beobachtung, dass die Menge der sich aus dem Kohledampf kondensierenden Teilchen mit der Bogenlänge wächst, und dass diese noch rotglühenden Teilchen die rote Strahlung absorbieren.

Die entsprechenden Beobachtungen wurden am Flammenbogen bei konstanter Stromstärke von 11 Amp. ausgeführt. Hier war es möglich, mit der Spannung bis auf 19 Volt herabzugehen, wogegen Beobachtungen über 33 Volt hinaus fast unmöglich waren, da der Lichtbogen wegen seiner grossen Länge[2]) zu stark flackerte.

[1]) Ayrton, Beibl. 24 1900 p. 1331. (The Electrician 45 p. 920 (1900).

[2]) Casselmann schon fand, dass Beimenzungen von Metallsalzen zu den Kohlen die zur Aufrechterhaltung eines Lichtbogens von bestimmter Länge nötige Spannung bedeutend herabsetzte. (Pogg. Ann. 63 p. 576, 1843).

„Marke Rot“

Volt	R_1		R_2		R_3	
	7.7—8.6 $\beta = 44^0\ 49'$ α	$\lambda = 678.8$ —639.4 μμ E = 82.810 J	9.9—10.5 $\beta = 43^0\ 0'$ α'	$\lambda = 592.1$ —573.9 μμ E = 82.718 J	13.8—14.1 $\beta = 40^0\ 36'$ α	$\lambda = 500.2$ —495.1 μμ E = 82.538 J
19	$60^0\ 12'$	26.8	$53^0\ 52'$	38.3	$42^0\ 2'$	74.6
21	$57^0\ 37'$	32.9	$49^0\ 44'$	51.6	$36^0\ 24'$	111.6
23	$47^0\ 46'$	67.4	$42^0\ 38'$	84.9	$32^0\ 33'$	148.8
25	$42^0\ 40'$	96.2	$38^0\ 29'$	113.8	$29^0\ 51'$	184.1
27	$40^0\ 49'$	109.6	$37^0\ 9'$	125.3	$27^0\ 1'$	233.1
29	$39^0\ 35'$	119.6	$36^0\ 34'$	130.7	$26^0\ 4'$	253.1
31	$38^0\ 45'$	126.9	$34^0\ 46'$	151.1	$25^0\ 23'$	269.3
33	$37^0\ 22'$	140.2	$34^0\ 19'$	154.4	$25^0\ 22'$	269.7

Volt	R_4		R_5		R_6	
	16.05—16.5 $\beta = 39^0\ 6'$ α	$\lambda = 465.9$ —460,0 μμ E = 82,448 J	19,7—20.2 $\beta = 37^0\ 14'$ α	$\lambda = 424.9$ —420.3 E = 82.266 J	13.0—13.6 $\beta = 41^0\ 0'$ α	514.9—503.7 E = 82.538 J
19	$35^0\ 27'$	107.4	$21^0\ 53'$	294.5	$59^0\ 2'$	22.5
21	$33^0\ 7'$	128.0	$18^0\ 7'$	443.8	$59^0\ 11'$	22.2
23	$30^0\ 13'$	160.5	$15^0\ 28'$	620.6	$59^0\ 13'$	22.1
25	$28^0\ 4'$	191.5	$13^0\ 41'$	801.5	$59^0\ 17'$	22.0
27	$26^0\ 20'$	222.3	$12^0\ 49'$	918.0	$60^0\ 6'$	20.6
29	$23^0\ 29'$	288.5	$12^0\ 26'$	977.4	$62^0\ 20'$	17.1
31	$21^0\ 57'$	352.7	$12^0\ 23'$	985.6	$62^0\ 27'$	17.0
33	$20^0\ 40'$	374.0	$12^0\ 6'$	1033.7	$62^0\ 32'$	16.9

„Marke Weiss“

Volt	W_1		W_2		W_3		W_4	
	7.9—8.4 λ = 668.9—648.0 β=44° 49′ α	E = 82.810 J	8.8—9.25 λ=631.4—614.0 β=44° 6′ α	F = 82.718 J	9.9—10.1 λ=592.2—586.0 β=43° 20′ α	E = 82.718 J	10.8—11.25 λ=565.7—554.0 β=42° 36′ α	E = 82.626 J
19	60° 24′	26.4	59° 52′	26.2	42° 0′	90.8	36° 2′	132.0
21	58° 22′	31.0	55° 3′	37.9	38° 32′	116.1	34° 6′	152.4
23	56° 30′	35.8	50° 17′	53.6	35° 13′	147.8	31° 53′	180.6
25	55° 2′	40.0	46° 52′	68.2	34° 1′	161.6	30° 24′	203.0
27	53° 12′	45.8	44° 0′	83.3	32° 49′	177.1	29° 13′	223.0
29	52° 19′	48.8	42° 59′	89.4	32° 6′	187.1	28° 9′	244.0
31	50° 42′	54.4	42° 13′	94,4	31° 22′	198.1	27° 51′	250.3
33	50° 12′	56.8	42° 9′	91.8	30° 46′	207.8	27° 37	255.3

„Marke Weiss“

Volt	W_5 13.8—14.3 λ = 500.2—491.9 $\mu\mu$ β = 40° 32′ E = 82.538 J		W_6 16.5—17.0 λ = 460.0—453.7 β 38° 56′ E = 82.448 J		W_7 10.39—10.8 λ = 577.4—565.4 $\mu\mu$ β 42° 54′ E = 82.626 J	
	)	α	)	α	)	α
19	26° 24′	241.9	21° 46′	337.5	55° 13′	34.4
21	24° 27′	291.9	18° 37′	474.2	56° 59′	30.1
23	22° 45′	343.2	17° 32′	539.1	57° 16′	29.5
25	21° 34′	386.3	15° 47′	673.5	56° 58′	30.2
27	20° 26′	434.8	14° 51′	765.4	57° 17′	29,4
29	18° 46′	522.7	13° 22′	953.0	57° 39′	28.6
31	17° 52′	580.8	13° 17′	965.5	58° 56′	25.9
33	16° 37′	677.6	12° 57′	1017.6	60° 43′	24.3

„Marke Gelb“

Volt	G_1		G_2		G_3		G_4	
	7.9—8.35λ β=44° 48′ ∢α	668.9—650.0μμ E=82.810 J	8.5—9.0 λ= β=44° 22′ ∢α	643.8—623.5 E=82.718 J	9.0—9.6 λ=623.5—601.9 β=43° 51′ ∢α	E=82.718 J	9.6—10.15λ= β=43° 27′ ∢α	601.9—584.2μμ E=82.718 J
19	70° 50′	9.86	61° 0′	24.3	48° 2′	61.7	60° 1′	24.7
21	67° 13′	14.4	57° 48′	24.9	46° 40′	67.9	59° 16′	26.2
23	65° 33′	16.9	50° 13′	54.9	41° 31′	97.4	55° 49′	34.2
25	64° 20′	18.9	44° 47′	80.3	30° 17′	223.8	49° 19′	54.9
27	62° 18′	22.5	42° 6′	96.9	25° 46′	327.6	45° 32′	71.5
29	60° 27′	26.3	40° 11′	111.0	24° 36′	364.3	43° 28′	82.6
31	58° 53′	29.8	39° 9′	119.4	24° 33′	365.8	43° 3′	85.1
33	57° 19′	32.8	38° 36′	124.2	24° 29′	368.1	42° 53′	86.1

„Marke Gelb“

	G_5		G_6		G_6		G_8	
Volt	11,6—12,3 λ=545.2—529.0 β=41° 54′ ∢α	E=82,636 J	17.4—17.7 λ=449.1—445.9 β=38°31′ ∢α	E=82,357 J	19.5—20. λ=426.9—422.0 β=37° 21′ ∢α	E=82.266 J	14.5—16.0 β=39° 47′ ∢α	488.6—466.5 E=83.448 J
19	39° 28′	98.1	36° 4′	98.4	21° 37′	305.1	65° 24′	12.0
21	35° 57′	126·5	32° 6′	132.6	19° 4′	410.4	67° 35′	9.73
23	31° 72′	176.7	28° 11′	181.7	14° 0′	770.8	68° 17′	9.07
25	27° 3′	255.1	24° 22′	254.3	12° 13′	1022.2	69° 27′	8.03
27	24° 16′	327.3	20° 34′	370.6	12° 11′	1027.9	69° 58′	7.60
29	23° 12′	362.1	17° 18′	525.5	12° 10′	1030.7	70° 43′	7.00
31	23° 15′	360·4	16° 5′	627.6	12° 5′	1045.5	71° 16′	6.57
33	23° 8′	364.4	15° 1′	724.9	11° 56′	1073.7	71° 26′	6.45

Wie zu erwarten war, liefert der Flammenbogen ganz andere Resultate. Die Kurven der Intensitätsänderungen aller der Spektralgebiete, deren Helligkeit von den Metallsalzbeimischungen herrührt, nehmen sämtlich einen steigenden Verlauf, denn der Flammenbogen beteiligt sich desto mehr an der Lichtentwicklung, je länger er ist. Dagegen weist die von der glühenden Kohle herrührende, geringe Strahlung eine Schwächung auf (Curven R_6, W_7 und G_8). Diese letztere Erscheinung steht im Einklang mit der von Wedding[1]) gemachten Beobachtung, dass bei zunehmender Spannung die Horizontalintensität des Wechselstrombogenlichts abnimmt.

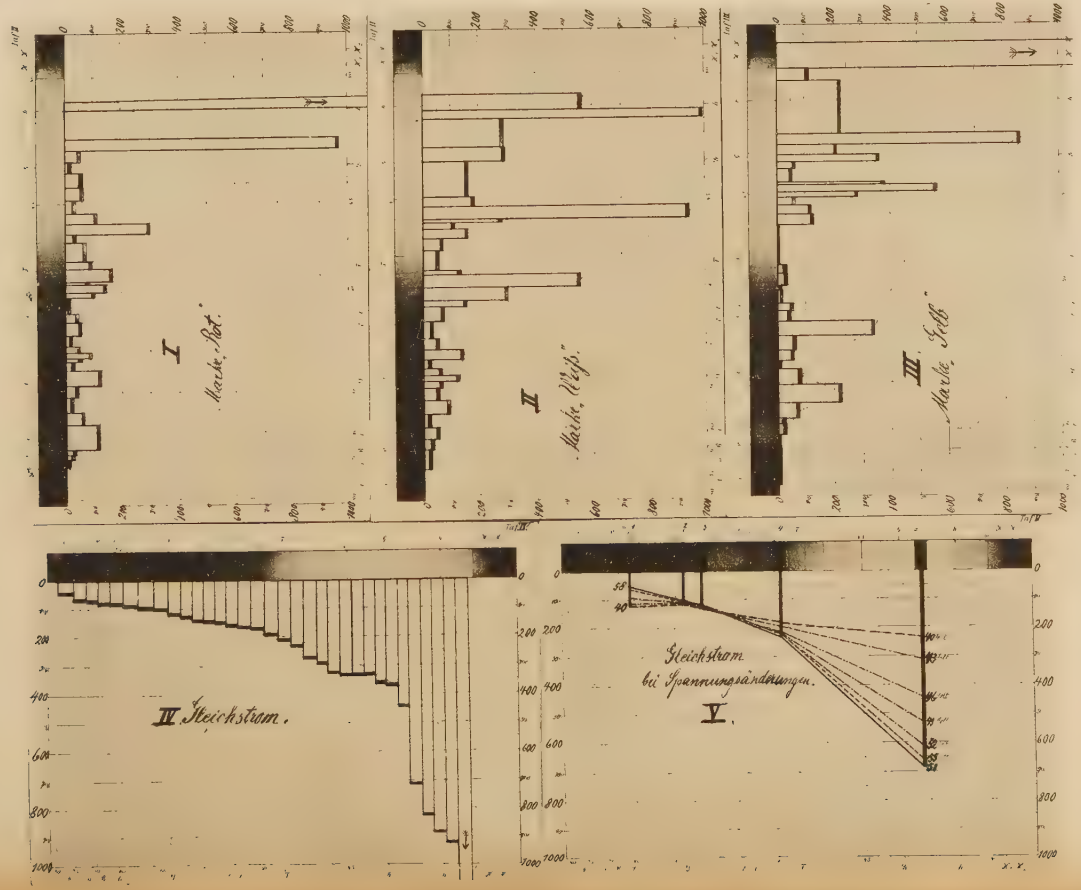
Allen 3 präparierten Kohlen gemeinsam ist die überaus grosse Zunahme der Intensität derjenigen Spektralteile, die den Farbenton des Lichtes bestimmen. So steigt bei „Marke Rot" die Intensität im Rot (R_1, λ = 678,8 bis 639,4 $\mu\mu$) auf das fünffache der ursprünglichen, während sie in den übrigen Gebieten höchstens das 3 bis 4 fache erreicht.

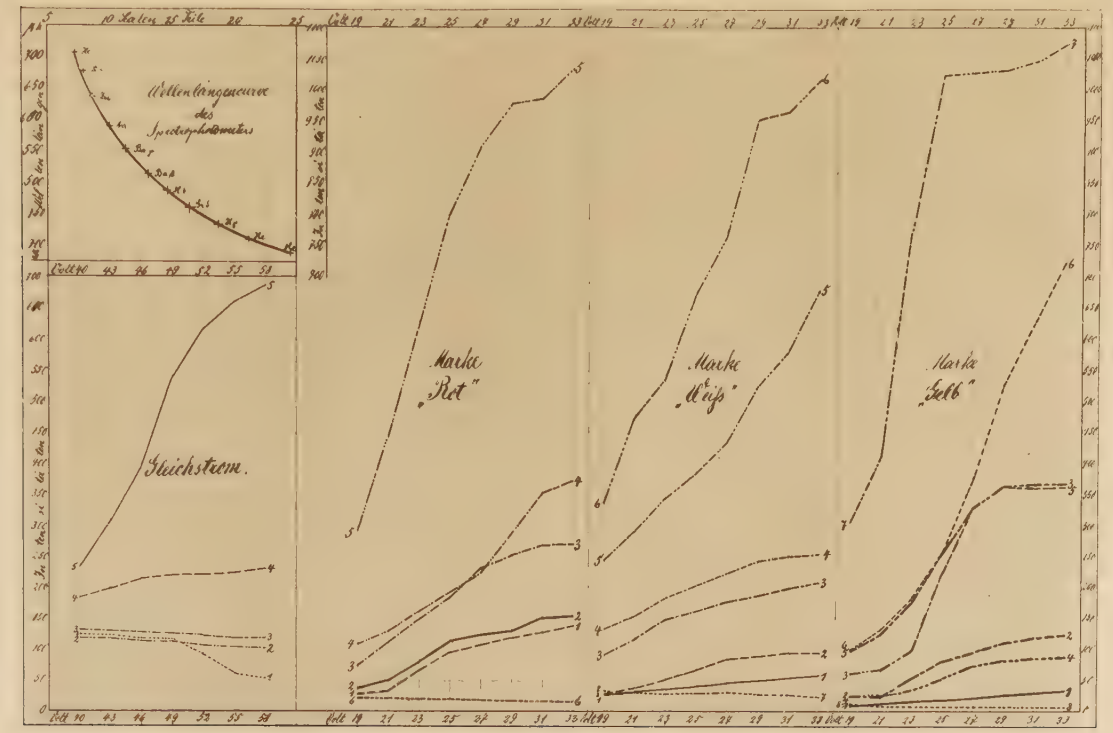
Marke Weiss zeigt eine in den beobachteten Gebieten gleichmässige Zunahme auf das zwei- bis dreifache.

Bei „Marke Gelb" erhebt sich die Intensität im Gelb (G_3, λ = 623,5—601,9 $\mu\mu$) gar auf das 6fache, während sie in den übrigen Gebieten ausser bei G_6 weit dahinter zurückbleibt.

Die für „Gleichstrom bei Spannungsänderungen" noch besonders hinzugefügte Spektraltafel V zeigt die interessante Tatsache, dass es bei ungefähr λ = 540 $\mu\mu$ eine Stelle im Spektrum gibt, deren Intensität bei veränderter Spannung weder zu- noch abnimmt. Ihre Lage gerade in diesem Teile des Spektrums weist darauf hin, dass die Vergrösserung der Spannung kein entsprendes Resultat für die gesamte horizontale Lichtintensität geben kann.

[1]) Wedding, E. T. Z. 19, (1898) p. 865.


I
Marke „Rot."
II
Marke „Weiß."
III
Marke „Gelb."
IV Gleichstrom.
Gleichstrom
bei Spannungsänderungen.
V.


Wellenlängencurve des Spectrophotometers
Gleichstrom.
Marke „Rot"
Marke „Weiß"
Marke „Gelb"

umsomehr, da zugleich die Intensität in dem für unser Auge nächstempfindlichen Gelb abnimmt.

Bei den Flammenbogen zeigt sich, dass die Zunahme der Intensität in den einzelnen Spektralgebieten eine ganz ungleichmässige ist. Meist drängen sich die Punkte von 27—31 Volt zusammen, ein Zeichen dafür, dass von einer gewissen Grenze an die durch die grössere Länge des Lichtbogens bedingte Abkühlung seiner äusseren Schichten bereits die Intensitätserhöhung zu kompensieren beginnt.

Die Intensitätserhöhung ist bei den vorliegenden Versuchen wohl ausschliesslich der Verlängerung des leuchtenden Bogens zuzuschreiben. Welchen Einfluss die zugleich bedingte Änderung der Dampfdichte auf die Breite und somit auch auf die Intensität der Spektrallinien ausüben mag, lässt sich nicht erkennen.

Die Form der Verbindungslinien der Resultate für Gleichstrom (Tafel V) legt noch (nach dem Satze über Temperaturstrahlung) folgendes Resultat nahe. Die Temperatur des Gleichstromlichtbogens steigt mit der Potentialdifferenz. In diesem Sinne kann man auch hier behaupten: Potentialabfall = Licht.

Die ganz verschiedenartige prozentuale Zunahme der Intensitäten bei den präparierten Kohlen bildet einen Beweis dafür, dass wir es bei den Flammenbogen mit Erscheinungen zu tun haben, die reine Temperaturstrahlung ausschliessen, die wir daher nur als Luminescenzleuchten bezeichnen können.

Die Resultate der vorliegenden Untersuchungen lassen sich in folgenden Sätzen zusammenfassen.

1) Bestätigung des Satzes: Bei Temperaturerhöhung nimmt innerhalb des Spektrums eines Temperaturstrahlers die Intensität der kürzeren Wellen schneller zu als die der längeren.

2) Die Horizontalintensität der Flammenbogen ist eine Folge von Luminescenz und nicht von reiner Temperaturstrahlung.

3) Der von präparierten Kohlen herrührende Lichtbogen ist mit ca. 41% am gesamten Potentialabfall beteiligt.

4) Die Temperatur des gewöhnlichen Kohlelichtbogens steigt mit der Potentialdifferenz bis zu einer durch die Abkühlung der äusseren Schichten bedingten Grenze.

Lebenslauf.

Carl Jaschke, katholisch, geboren den 3. Dezember 1877 zu Lamsdorf, Kreis Falkenberg, Oberschlesien. Schulbesuch: Volksschule zu Breslau Ostern 1884 bis Ostern 1889; Oberrealschule zu Breslau Ostern 1889 bis Ostern 1899 (Reifezeugnis). Ab Ostern 1899 Studium der Mathematik und Naturwissenschaften an der Universität zu Breslau mit Besuch der Vorlesungen und Übungen der Herren Professoren und Dozenten.

Auhagen, Brefeld, Caro, Cohn, Ebbinghaus, Freudenthal, Heydweiller, Kückenthal, London, O. E. Meyer, Neumann, Riesenfeld, Rosanes, Stern und Sturm.

Examen rigorosum am 16. Dezember 1903.

Thesen.

1) Es ist bisher nicht gelungen, Gase durch blosse Temperaturerhöhung zum Leuchten zu bringen.
2) Das Stephan Boltzmannsche Gesetz der Gesamtstrahlung ist durch die Verwirklichung des absolut schwarzen Körpers bestätigt worden.
3) In der Photometrie würde die Entdeckung eines Körpers von grösster Bedeutung sein, der absorbierte Strahlungsenergie in eine andere absolut messbare Energieform überführt.